

Family list19 family members for: **JP2002329913**

Derived from 12 applications

- 1 **Incoherent light-emitting device for driving vertical laser cavity**
Inventor: CARHENG K B (US); LEBENS J A (US); **Applicant:** EASTMAN KODAK CO (US)
 (+1)
EC: H01S3/0915 **IPC:** H01L51/50; H01S3/0915; H01S3/17 (+16)
Publication info: CN1237675C C - 2006-01-18
 CN1380725 A - 2002-11-20
- 2 **Incoherent light-emitting device apparatus for driving vertical laser cavity**
Inventor: COK RONALD S (US); KAHEN KEITH B **Applicant:** EASTMAN KODAK CO (US)
 (US); (+2)
EC: H01L51/52D2 **IPC:** H01S3/213; H01L51/52; H01S3/06 (+17)
Publication info: CN1574519 A - 2005-02-02
- 3 **No title available**
Inventor: **Applicant:**
EC: **IPC:**
Publication info: DE60219988D D1 - 2007-06-21
- 4 **Incoherent light-emitting device apparatus for driving vertical laser cavity**
Inventor: KAHEN KEITH B (US); LEBENS JOHN A **Applicant:** EASTMAN KODAK CO (US)
 (US); (+1)
EC: H01S3/0915 **IPC:** H01L51/50; H01S5/183; H01S3/0915 (+1)
Publication info: DE60219988T T2 - 2008-01-10
- 5 **Incoherent light-emitting device apparatus for driving vertical laser cavity**
Inventor: KAHEN KEITH B (US); LEBENS JOHN A **Applicant:** EASTMAN KODAK CO (US)
 (US); (+1)
EC: H01S3/0915 **IPC:** H01L51/50; H01S5/183; H01S3/0915 (+2)
Publication info: EP1249903 A2 - 2002-10-16
 EP1249903 A3 - 2004-06-30
 EP1249903 B1 - 2007-05-09
- 6 **Incoherent light-emitting device apparatus for driving vertical laser cavity**
Inventor: COK RONALD S (US); KAHEN KEITH B **Applicant:** EASTMAN KODAK CO (US)
 (US); (+2)
EC: H01L51/52D2 **IPC:** H01S3/213; H01L51/52; H01S3/06 (+22)
Publication info: EP1503469 A2 - 2005-02-02
 EP1503469 A3 - 2005-08-17
- 7 **LASER LIGHT EMITTING DEVICE**
Inventor: KAHEN KEITH B; LEBENS JOHN A; (+1) **Applicant:** EASTMAN KODAK CO
EC: H01S3/0915 **IPC:** H01L51/50; H01S3/0915; H01S3/17 (+17)
Publication info: JP4037677B2 B2 - 2008-01-23
 JP2002329913 A - 2002-11-15
- 8 **LASER LIGHT EMITTING DEVICE**
Inventor: COK RONALD S; KAHEN KEITH B; (+2) **Applicant:** EASTMAN KODAK CO
EC: H01L51/52D2 **IPC:** H01S3/213; H01L51/52; H01S3/06 (+16)
Publication info: JP2005020002 A - 2005-01-20
- 9 **INCOHERENT LIGHT-EMITTING DEVICE APPARATUS FOR DRIVING VERTICAL LASER CAVITY**
Inventor: KAHEN KEITH B; LEBENS JOHN A; (+1) **Applicant:** EASTMAN KODAK CO
EC: H01S3/0915 **IPC:** H01L51/50; H01S3/0915; H01S3/17 (+16)
Publication info: KR20020079556 A - 2002-10-19
- 10 **LASER EMISSION DEVICE HAVING IMPROVED ARRANGEMENT FOR**






**USING LIGHT PRODUCED BY INCOHERENT LIGHT-EMITTING DEVICE
AS INPUT****Inventor:** COK RONALD STEVEN; KAHEN KEITH B; **Applicant:** EASTMAN KODAK CO
(+2)**EC:** H01L51/52D2**IPC:** H01S3/213; H01L51/52; H01S3/06 (+15)**Publication info:** KR20050001375 A - 2005-01-06**11 Incoherent light-emitting device apparatus for driving vertical laser
cavity****Inventor:** KAHEN KEITH B (US); LEBENS JOHN A **Applicant:** EASTMAN KODAK CO (US)
(US); (+1)**EC:** H01S3/0915**IPC:** H01L51/50; H01S3/0915; H01S3/17 (+16)**Publication info:** US6658037 B2 - 2003-12-02**US2002171088 A1** - 2002-11-21**12 Incoherent light-emitting device apparatus for driving vertical laser
cavity****Inventor:** COK RONALD S (US); KAHEN KEITH B **Applicant:** EASTMAN KODAK CO (US)
(US); (+2)**EC:** H01S3/0915**IPC:** H01L51/50; H01S3/0915; H01S3/17 (+17)**Publication info:** US6879618 B2 - 2005-04-12**US2004004988 A1** - 2004-01-08

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

LASER LIGHT EMITTING DEVICE

Patent number: JP2002329913
Publication date: 2002-11-15
Inventor: KAHEN KEITH B; LEBENS JOHN A; SPOONHOWER JOHN P
Applicant: EASTMAN KODAK CO
Classification:
- international: *H01L51/50; H01S3/0915; H01S3/17; H01L27/32; H01S3/06; H01S3/08; H01S3/0933; H01S5/026; H01S5/04; H01S5/183; H01S5/36; H01L51/50; H01S3/0915; H01S3/17; H01L27/28; H01S3/06; H01S3/08; H01S5/00; (IPC1-7): H01S3/17; H05B33/14*
- european: H01S3/0915
Application number: JP20020107707 20020410
Priority number(s): US20010832759 20010411

Also published as:

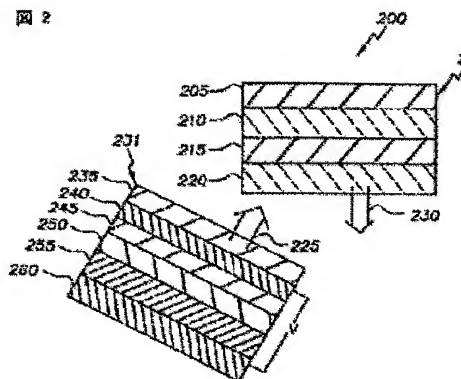
 EP1249903 (A2)
 US6879618 (B2)
 US6658037 (B2)
 US2004004988 (A1)
 US2002171088 (A1)

more >>

Report a data error he

Abstract of JP2002329913

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a vertical laser-resonant light emitting device which is driven by incoherent light. **SOLUTION:** The laser light emitting device is an incoherent light emitting device (a) which is provided with a light emitting layer and a means which applies an electric field traversing the light emitting layer, and light which is transmitted from the device so as to go out is generated. The laser light emitting device is a vertical laser resonant structure (b) which is arranged in such a way that the light transmitted from the device is received. The laser light emitting device is formed in such a way that it comprises a first means (1) which receives the light from the device and which is mainly transparent or reflective over a prescribed wavelength range, that it comprises an organic active layer (2) which receives the light from the device and which generates a laser beam, and that it comprises a second means (3) which reflects the light from the organic active layer so as to be returned to the organic active layer and which transmits the laser beam by a combination of the first means and the second means.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-329913

(P 2 0 0 2 - 3 2 9 9 1 3 A)

(43) 公開日 平成14年11月15日 (2002. 11. 15)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	チーマコード (参考)
H01S 3/17		H01S 3/17	3K007
H05B 33/14		H05B 33/14	A 5F072

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全13頁)

(21) 出願番号	特願2002-107707 (P 2002-107707)	(71) 出願人	590000846 イーストマン コダック カンパニー アメリカ合衆国, ニューヨーク14650, ロ チェスター, ステイト ストリート343
(22) 出願日	平成14年 4月10日 (2002. 4. 10)	(72) 発明者	キース ビー, カーエン アメリカ合衆国, ニューヨーク 14616, ロチェスター, レッド スプルーース レー ン 507
(31) 優先権主張番号	0 9 / 8 3 2 7 5 9	(74) 代理人	100077517 弁理士 石田 敬 (外4名)
(32) 優先日	平成13年 4月11日 (2001. 4. 11)		
(33) 優先権主張国	米国 (U S)		

最終頁に続く

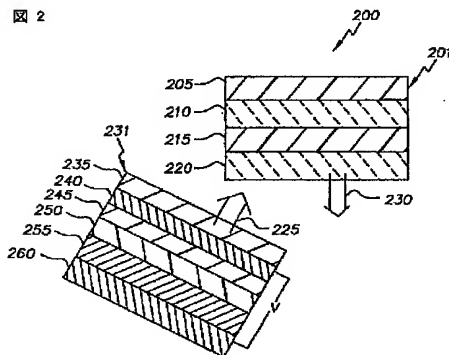
(54) 【発明の名称】 レーザ発光装置

(57) 【要約】

【課題】 非干渉性光で駆動する垂直レーザ共振器型発光装置を提供すること。

【解決手段】 a) 発光層と、該発光層を横切る電場を印加するための手段とを有する非干渉性光放出デバイスであって、該デバイスから伝送されて出てくる光を発生させるもの、並びに b) 該非干渉性光放出デバイスから伝送されてきた光を受けように配置された垂直レーザ共振器構造体であって、(1) 該非干渉性光放出デバイスからの光を受けるための第1手段であって、所定の波長範囲にわたり主に透明又は反射性であるもの、(2) 該非干渉性光放出デバイス及び該第1手段からの光を受け、かつ、レーザ光を発生させるための有機活性層、並びに (3) 該有機活性層からの光を反射して該有機活性層へ戻すための第2手段を含み、該第1手段と該第2手段との組合せによりレーザ光を伝送するもの、を含んで成るレーザ発光装置。

図 2



【特許請求の範囲】

【請求項1】 a) 発光層と、該発光層を横切る電場を印加するための手段とを有する非干渉性光放出デバイスであって、該デバイスから伝送されて出てくる光を発生させるもの、並びに

b) 該非干渉性光放出デバイスから伝送されてきたポンプビーム光を受けるように配置された垂直レーザ共振器構造体であって、下記(1)～(3)：

(1) 該非干渉性光放出デバイスからの光を受けるための第1手段であって、所定の波長範囲にわたり主に透明又は反射性であるもの、

(2) 該非干渉性光放出デバイス及び該第1手段からの光を受け、かつ、レーザ光を発生させるための有機活性層、並びに

(3) 該有機活性層からの光を反射して該有機活性層へ戻すための第2手段を含み、該第1手段と該第2手段との組合せによりレーザ光を伝送するものを含んで成るレーザ発光装置。

【請求項2】 a) 発光層と、該発光層を横切る電場を印加するための手段とを有する有機発光デバイスであって、該デバイスから伝送されて出てくる光を発生させるもの、並びに

b) 該有機発光デバイスから伝送されてきたポンプビーム光を受けるように配置された垂直レーザ共振器構造体であって、下記(1)～(3)：

(1) 該有機発光デバイスからの光を受け、かつ、伝送するための第1 DBRミラーであって、所定の波長範囲にわたるレーザ光に対して反射性であるもの、

(2) 該第1 DBRミラーから伝送されてきた光を受け、かつ、レーザ光を発生させるための有機活性層、並びに

(3) 該有機活性層からのレーザ光及び伝送されてきたOLED光を反射して該有機活性層へ戻し、かつ、レーザ光を伝送するための第2 DBRミラーを含むものを含んで成るレーザ発光装置。

【請求項3】 該有機発光デバイスが、

- a) 透明基板、
- b) 該基板上に配置された透明アノード層、
- c) 該アノード層の上に配置された正孔輸送層、
- d) 該正孔輸送層の上に配置された発光層、
- e) 該発光層の上に配置された電子輸送層、及び
- f) 該電子輸送層の上に配置されたカソード

を含んで成る、請求項2記載のレーザ発光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光装置の分野、特に有機系固体レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】過去数年間にわたり、有機系固体レーザの製造に対する興味が増しつつある。レーザ動作材料は高分子又は低分子であり、そして、マイクロ共振器(Koz

lovらの米国特許第6,160,828号)、導波路、リングマイクローザ、及び分布帰還(例えば、G. Kranzelbinderら、Rep. Prog. Phys. 63, 729[2000]及びM. Diaz-Garciaらの米国特許第5,881,083号参照)のような数種類の共振器構造体が採用された。これらの構造体のすべてにまつわる問題の一つは、レーザ動作を実現するためには、別のレーザ光源を使用した光ポンピングによって共振器を励起しなければならないことである。レーザ共振器を電氣的にポンピングすることは、一般によりコンパクトで一段と変調し易い構造体となるため、はるかに好ましいことである。

【0003】電気ポンピング式有機物レーザの実現に対する主な障壁は、有機材料のキャリア移動度が、典型的に $10^{-4} \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 程度と低いことである。キャリア移動度がこのように低いと、いくつかの問題を生じる。キャリア移動度の低いデバイスは、大幅な電圧降下及びオーミック加熱を回避するため、典型的には薄層を使用せざるを得ない。これらの薄層は、損失的なカソード及びアノードへ貫入するレーザ動作モードをもたらすため、レーザ動作しきい値の大幅な増加を引き起こす(V.G. Kozlovら、J. Appl. Phys. 84, 4096[1998])。有機材料中の電子-正孔再結合はランジュバン再結合(その割合はキャリア移動度に比例する)に支配されるので、キャリア移動度が低いと、シングル励起よりも電荷の程度が高いキャリアをもち、その結果の一つとして、電荷誘導型(ポーラロン)吸収が顕著な損失機構となり得ることがある(N. Tesslerら、Appl. Phys. Lett. 74, 2764[1999])。レーザデバイスの内部量子効率を5%と仮定し、今までに報告されているレーザ動作しきい値の最低値 $\sim 100 \text{ W/cm}^2$ (M. Berggren et al., Nature 389, 466[1997])を用い、かつ、上述した損失機構を無視したとすると、電氣的ポンピング式レーザ動作しきい値の下限値は 1000 A/cm^2 となる。これらの損失機構を含めると、レーザ動作しきい値は 1000 A/cm^2 をはるかに上回ることとなるが、これは、有機系デバイスが耐えられる電流密度としては、これまでに報告されている最も高い値である(N. Tessler, Adv. Mater. 19, 64[1998])。

【0004】これらの困難を回避する方法の一つは、レーザ動作媒質として非晶質有機材料の代わりに結晶性有機材料を使用する方法である。この方法が最近採用され(J.H. Schon, Science 289, 599[2000])、単結晶テトラセンを使用したファブリー・ペロ共振器が構築された。結晶性テトラセンを使用したことにより、キャリア移動度が $2 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 程度となり、かつ、ポーラロン吸収がはるかに低くなるため、より大きな電流密度を得ることができ、より厚い層を使用することができる。この結果、室温しきい値電流密度は約 1500 A/cm^2 となる。有機系レーザの利点の一つは、その材料が非晶質であることが典型的であるため、デバイスを安価に形成することができ、かつ、どのようなタイプの基板上でも成長させ

ることができることにある。単結晶型有機系レーザ法では、これら二つの利点が失われる。

【0005】その他の提案として、有機系レーザ共振器を、無機系 (M. D. McGehee et al., Appl. Phys. Lett. 72, 1536 [1998]) 又は有機系 (Berggrenらの米国特許第5,881,089号) の発光ダイオード (LED) でポンピングする方法がある。McGeheeら (M. D. McGehee et al., Appl. Phys. Lett. 72, 1536 [1998]) は、InGaN系LEDを使用してレーザをポンピングするためには、しきい値を少なくとも1オーダー下げる必要があると述べている。Berggrenら (米国特許第5,881,089号) は、デバイスのある部分 (有機LED部) が非干渉性放射を提供し、一方、隣接する部分 (レーザ共振器) がオプティカルダウコンバージョン、ゲイン及びオプティカルフィードバックを提供する、そのような全有機系単一レーザの製造を提案している。Berggrenらは、レーザ動作共振器が、ファセットを含む導波路、分布帰還導波路型共振器、分布ブラッグ反射体導波路型共振器又は光格子共振器のいずれかであるべきであると述べている。Berggrenらは、当該デバイスの有機発光ダイオード (OLED) 部分についてのデータ (電流-電圧特性及び電圧-輝度特性) を示したにすぎない。当該デバイスのレーザ動作特性に関しては、~620 nmの干渉性放射が得られたとのコメントしかない。Berggrenらはデバイスのレーザ動作に関して何ら詳細な説明を提供していないため、当該デバイスが、そのOLED部分からの励起の結果としてレーザ動作したのかどうかについて決定することは困難である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、非干渉性光放出デバイスにより発生させた光を、レーザ光を発生させるためのレーザ共振器構造体への入力として使用するための配置を改良することにある。非干渉性光放出デバイスからの非干渉性光を受けることに、垂直レーザ共振器が特に適していることがわかった。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記の目的は、

- a) 発光層と、該発光層を横切る電場を印加するための手段とを有する非干渉性光放出デバイスであって、該デバイスから伝送されて出てくる光を発生させるもの、並びに
- b) 該非干渉性光放出デバイスから伝送されてきた光を受けるように配置された垂直レーザ共振器構造体であって、下記(1)~(3) :
 - (1) 該非干渉性光放出デバイスからの光を受けるための第1手段であって、所定の波長範囲にわたり主に透明又は反射性であるもの、
 - (2) 該非干渉性光放出デバイス及び該第1手段からの光を受け、かつ、レーザ光を発生させるための有機活性層、並びに
 - (3) 該有機活性層からの光を反射して該有機活性層へ戻

すための第2手段を含み、該第1手段と該第2手段との組合せによりレーザ光を伝送するものを含んで成るレーザ発光装置によって達成される。

【0008】

【発明の実施の形態】二部型電気駆動式有機固体レーザ装置の構成と性能をより一層認識するため、図1に示した従来技術の有機レーザ共振器デバイスについて説明する。図1に示した従来技術の有機レーザ共振器デバイス100は、透明基板105を有し、その上にミラー層110が形成されている。透明基板105はガラス又は石英であることができ、一方、ミラー層110は分布型ブラッグ反射体 (DBR) 誘電体ミラースタックである。DBRミラーは厚さ $\lambda/4$ の誘電体層からなる。ここで λ は、DBRミラー反射性ストップバンドの中心波長を表し、そして該スタックは屈折率の高い層と低い層とが交互するものである。DBRミラーの反射率は9%を上回ることが典型的である。DBRミラーを形成するのに用いられる典型的な誘電体は、低屈折率材料の場合は SiO_2 であり、また高屈折率材料の場合は TiO_2 又は Ta_2O_5 である。DBRミラー110の上には有機活性層115が形成されている。活性層115は、低分子量有機材料又は共役ポリマー系有機材料のいずれから構成されていてもよい。低分子量有機材料は、高真空熱蒸発法で堆積されることが典型的である。一方、共役系ポリマーは、通常はスピンキャスト法で形成される。活性層115の上には熱蒸発法で金属120が堆積される。典型的な金属は、銀又はアルミニウムであって反射率が9%を上回るものである。デバイス100をレーザ動作させるため、活性材料115を入射光線125で光ポンピングする。入射光線125は活性層115に高い光エネルギー密度を送らなければならないという要件のため、入射光源としてレーザを適当なレンズと併用することが典型的である。活性材料115は入射ポンプ光線を吸収し、そしてそのエネルギーの一部をより長い波長の光として放出する。長波長光の一部は望ましくない自然放出として放出され、一方、別の一部は誘導放出130として放出されて、当該層の平面に対して法線方向に向かい、底部のDBRミラー110と透明基板105を通してデバイスを出ていく。

【0009】従来技術のデバイス100のレーザ動作しきい値が高いのは、多くの因子によるためである。反射体の一つとして金属層を使用すると、レーザ共振器の内部で一往復する毎にレーザ光の約10%が損失することとなる。さらに、~1500 nmの活性層の内部に金属を有すると、活性材料の蛍光が著しくクエンチングすることになりかねない (K. B. Kahen, Appl. Phys. Lett. 78, 1649 [2001])。また、活性材料として共役系ポリマーを使用することが典型的である。これらの材料はスピンキャスト法で堆積されるので、活性層の表面上で厚さを十分均一にすることが困難である。厚さが不均一である

じることとなる。その結果、破壊的干渉が起こり、このことがしきい値を一層高くすることになりかねない。共役ポリマー系活性層（ホストドーパントの組合せを使用しないもの）に関する別の問題は、レーザ動作波長において、なおも活性材料からの有意な吸収が存在していることである。

【0010】図2は、本発明により製造された電気ポンピング式有機固体レーザ装置200の略横断面図である。該装置は二つの部分から成るものである。第1部分201は垂直レーザ共振器であるが、従来技術のものは、基板205が透明又は光学的高濃度であることができ、反射体210及び220がどちらもDBRミラーであり、そして活性層215が、ホストドーパント材料系を採用する有機物から形成されている点において、相違する。好適な実施態様では、層205はSi系基板であるが、DBRミラーを成長させることができる光学的に平坦な基板であればどのような基板であってもよい。基板205の上にDBRミラー210が堆積されている。当該誘電体層の厚さを正確にすることが重要なので、常用のスパッタ堆積法又は電子ビーム（e-ビーム）堆積法で成長させることが好ましい。垂直レーザ共振器の最適性能を得るため、ボトムDBRミラーは、レーザ光230のみならず、入ってくるOLED光225をも反射するように設計される。結果的に、 $\lambda/4$ 厚の高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層を交互に堆積させる（ λ は所望のレーザ動作波長に近くなるように選定される）のとは別に、OLED光225について幅広い反射最大値が得られるように、追加の高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層を交互に堆積させる。特に、OLED光225のうち活性層215のホスト材料によって吸収される部分を反射する必要があるだけである。レーザ動作波長において、ボトムDBRミラーの反射率が99.9%よりも高く、一方、OLED光225の反射率最大値が90%よりも高いことが好ましい。DBRミラー210の上に有機活性層215が堆積される。これは、常用の高真空（ 10^{-1} Torr）熱蒸着法又は溶液からのスピンキャスト法によって形成することができる。しきい値を低くするためには、活性層215の厚さを $\lambda/2$ （ λ はレーザ動作波長）の整数倍にすることが好ましい。最低しきい値は整数倍が1又は2である場合に得られる。活性層215はホスト及びドーパント有機分子を含んで成る。当該有機分子は、現在のところより均一に堆積することができるので、低分子量のものであることが好ましい。本発明に用いられるホスト材料は、OLED光225を十分に吸収し、かつ、その励起エネルギーの大部分をフェルスターエネルギー伝達機構によりドーパント材料へ伝達することができるいずれの材料からでも選ばれる。当業者であれば、ホスト分子とドーパント分子との間の無放射エネルギー伝達を意味するフェルスターエネルギー伝達概念の概念には精通している。赤色発光レーザについて有用なホストドーパントの組合せの一例と

して、アルミニウムトリス（8-ヒドロキシキノリン）（Alq）をホストとし、4-（ジシアノメチレン）-2-1-ブチル-6-（1,1,7,7-テトラメチルジユロリジル-9-エニル）-4H-ピラン（DCITB）を赤発光性ドーパントとした組合せが挙げられる。活性層215の上にDBRミラー220を堆積する。この場合も常用のe-ビーム堆積法で堆積されるが、今回は堆積工程中有機物温度を75℃未満に維持することが好ましい。DBRミラー220は、レーザ動作波長 λ において高い反射率が得られるように厚さ $\lambda/4$ の高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層とを交互させたものからなり、さらに、OLED光225について幅広い透過極大が得られるように追加の高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層を交互に堆積する。レーザ動作波長において、トップDBRミラー220の反射率が98%を上回り、一方で0LED光225の90%超を透過することが好ましい。

【0011】有機固体レーザデバイス200の第2部分231は、スペクトルの所定範囲内の非干渉性光を発生させる1又は2以上の電気駆動式有機発光ダイオードデバイスである。OLEDデバイスの一例として、譲受人共通のHungarの米国特許第6,172,459号と其中で引用されている文献を参照されたい。これらの開示事項を本明細書の一部とする。

【0012】有機発光デバイス231は透明基板235を有し、その上に透明正孔注入性アノード240が形成されている。基板235はガラス又は石英であることができる。アノード240は、基板235の上に形成されたインジウム錫酸化物（ITO）の薄層であることが好ましい。ITOは、蒸発法、スパッタ法又は化学的気相成長法により堆積することができ、その好適な厚さ範囲は20～150nmである。アノード240の上に有機正孔輸送層245を形成し、有機正孔輸送層245の上に有機発光層250を形成し、そして有機発光層250の上に有機電子輸送層255を形成する。これら3層の一例として、有用な構造体は、正孔輸送層245として4,4'-ビス[N-(1-ナフチル)-N-フェニルアミノ]ピフェニル（NPB）のようなジアミン層と、発光層250として無ドープ型9,10-ビス（2-ナフタレニル）アントラセン（ADN）と、電子輸送層255としてAlqを含む。これらの有機物は高真空熱蒸着法により製造されることが典型的である。好適な厚さは、NPBは40～250nm、ADNは10～50nm、そしてAlqは10～200nmの各範囲内である。最後に、電子輸送層255の上に、仕事関数が4.0eV未満となるように選ばれた材料のカソード層260を形成する。好適なカソード層260は、Mg:Ag体積比が10:1のMgAgである。カソード層は、常用の熱蒸着法により、層厚の好適な範囲50～300nmで形成することができる。当該技術分野では周知であるように、アノードとカソードの間に電圧Vを印加して発光層からポンプビーム光を発生させるのに必要な電場を提供することができる。該ビーム光は有機発光ダイオードデバイスから透過

して出てくる。電圧Vは連続的であってもパルス状であってもよい。

【0013】典型的なバイアス条件下、電子（負電荷キャリア）がカソード260から有機電子輸送層255に注入され、そして正孔（正電荷キャリア）がアノード240から有機正孔輸送層245に注入される。電子と正孔はそれぞれ対応する有機層255及び245を介して輸送されて有機発光層250に送り込まれる。有機発光層250において、電子と正孔は、正孔輸送層245と発光層250の接合部付近で主として再結合する。再結合の結果、有機発光層250から光が放出される。発光層で放出された光のうち、約50％は基板235の方向に直接放出され、残る50％はカソード260の方向に向けて放出され、その一部が反射されて基板の方向へ戻ってくる。戻り反射光と直接放光光とが一緒になって全体光225となり、該デバイスの基板235から出てくる。

【0014】有機発光デバイス231を出た後のOLED光225は、トップDBRミラー220を通してレーザ共振器201に入る。トップDBRミラーの設計の結果、当該光の大部分が活性層215内へ通過していく。構成により、活性層ホストがOLED光225の一部を吸収する。

（活性層の吸収長が小さすぎる場合に）吸収されなかった光の部分のうち、光225の残りの部分がボトムDBRミラー層210に入り、そこで設計により、当該光の大部分が反射されて第2の通過のため活性層内に戻る。第2の通過の際に、OLED光225の追加部分が活性層ホストにより吸収される。フェルスターエネルギー伝達機構により、ホストにより吸収された光エネルギーがドーバント分子へ無放射伝達される。ドーバント分子の放出のための量子効率が高いと、無放射伝達エネルギーの大部分がより長い波長の光として再放出されることとなるため、好ましい。例えば、OLED光放出材料としてADNを、活性層ホストとしてAlqを、そして活性層ドーバントとしてDCJTbを使用すると、OLED放光色は青色になり、Alqは主として青色で吸収し、一方でDCJTbは赤色で放出する。レーザ共振器201は、赤色光、特にトップ及びボトムDBRミラーの反射率が最大となる波長に対して、高Q値共振器となるように設計される。当業者は、正味の利得が最高となる特定波長においてレーザ動作が起る概念に精通している。その波長において、レーザ光230はトップDBRミラーとボトムDBRミラーとの間で何回も反射を繰り返した後、（設計によりボトムDBRミラーはトップDBRミラーよりもミラー損失はるかに低いため）主としてトップDBRミラー220を通して放出される。

【0015】図3に本発明による別の例示態様の略図を示す。図3では、垂直レーザ共振器と電気駆動式有機発光ダイオードデバイスとが合体して集積デバイスとなっている。図3の有機固体レーザデバイスは、下記の点を

除いて、図2のレーザと同様に動作する。この態様では、透明基板層235が、垂直レーザ共振器とOLEDデバイスとの双方の基板となっている。図2の場合との主な相違点の別のものは、OLED光225が垂直レーザ共振器にボトムDBRミラー210を通して入ることである。結果的に、ボトムDBRミラー210は、レーザ光230の波長においてその反射率が99.9％超となり、かつ、OLED光225の90％超を透過するように、高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層とを交互に配したもののからなる。これに対応するように、トップDBRミラー220は、レーザ光230の波長においてその反射率が98％超となり、かつ、OLED光225の90％超を反射するように、高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層とを交互に配したもののからなる。本発明には、非干渉性光源を基板上に直接搭載し、そして該非干渉性光源の上に垂直レーザ共振器構造体を搭載する態様も包含されることに留意されたい。

【0016】

【実施例】以下の実施例は、本発明の理解をより一層深めるためのものであり、本発明を限定するものと解釈してはならない。

例1

図2に示した有機固体レーザデバイスの一般的レーザ動作特性を測定するため、予め清浄しておいた4インチ(10.16cm)Si基板の上に垂直レーザ共振器構造体を形成した。その基板の上に、常用のe-ビーム堆積法で、それぞれTa₂O₅及びSiO₂からなる高屈折率層及び低屈折率層を交互に配して成るボトムDBRミラーを堆積させた。得られたミラーの600～720nm間の反射率ストップバンドは99％を超えており、その中心波長660nmにおける反射率は99.999％を超えた。ボトムDBRミラーの上に、高真空熱蒸着法により、DCJTbを1％ドーブした200nmのAlqからなる活性層を堆積した。最後に、低温e-ビーム堆積法で、Si基板の測定温度が72℃未満に維持されるようにして、トップDBRミラーを堆積させた。トップDBRミラーは、それぞれTiO₂及びSiO₂からなる高屈折率層及び低屈折率層を交互に配して成るものとした。得られたミラーの665～775nm間の反射率ストップバンドは99％を超えており、その中心波長720nmにおける反射率は99.9％を超えた。活性層の厚さは、当該垂直レーザ共振器構造体のレーザ動作波長 λ_1 が約690nmとなるように選定した。より具体的には、活性層の厚さを $\lambda_1/2n$ となるように選定した。ここで、 n (=1.691)は690nmにおける当該活性材料の屈折率測定値である。

【0017】上記垂直レーザ共振器構造体を、青色GaNレーザダイオード(λ =419nm)によって光ポンピングした。該ダイオードは、8Vにおいて4KHzの反復速度でファンクション・ジェネレータ(HP)により駆動して50nsのパルスを得た。8Vにおいて該ダイオードは～30mWを発揮することが測定された。160nmの表面を用い、ポンプビームを垂直レーザ共振器構造体の表面上に

スポットサイズ測定値が $62\mu\text{m}$ となるように垂直に集束させた。パルスのエネルギーを、較正中性濃度フィルターを使用して変更した。共振器垂直方向の放出スペクトル(約 16° の全角許容円錐)を、ダブルモノクロメータ(Spex)を使用して周波数分散させ、冷却した光電子増倍管(Hamamatsu)で検出した。

【0018】図4に、684nmにおけるレーザ遷移及び626nmにおける自然放出ピークの両方について、出力の励起入力依存性のlog-logプロットを示す。626nmにおける自然放出ピークは、トップDBRミラーの反射率が反射率ストップバンド(665-775nm)を超えたところで急落することによる。このため、626nmにおいて、トップスタックの反射率測定値は約3%となる。図面からわかるように、レーザ動作遷移だけが低励起エネルギーの場合に出力プロットにおいてキंकを示すが、どちらの遷移も高パワー密度においてクエンチング現象によりロールオフする。さらに重要なことは、ポンプパワー密度のしきい値が約 0.06 W/cm^2 (又は 3 nJ/cm^2)と、これまでに文献報告された最低しきい値(M. Berggren et al., Nature 389, 466[1997]及びT. Granlund et al., Chem. Phys. Lett. 288, 879[1998])よりも数オーダー低いことである。最後に、該図面は、レーザ動作遷移の勾配が自然放出よりも大きい(0.75に対して0.91)ことを示している。出力プロットにおけるキंक及びレーザ動作遷移の方が勾配が大きいことの他、レーザ動作のさらなる証拠を図5に示す。図5は、684nm付近のレーザ動作ピークの高解像度スペクトルを示す。当該ピークのFWHMは 0.4 nm であり、これはモノクロメータの解像限界にあたるので、レーザ動作遷移は少なくともこのくらいは狭い。一方、自然放出ピークのFWHM測定値は626nmにおいて 7 nm である。どちらのピークも 0.6 W/cm^2 の入力(レーザ動作しきい値よりも1オーダー高い値)で測定した。

【0019】本例は、本発明による垂直レーザ共振器構造体を採用することにより、極めて低いレーザ動作しきい値が得られることを例証するものである。このようにしきい値が低くなる結果、これらのレーザ共振器を非干渉性光源によって励起することが可能となる。

【0020】例2

本例において、例1に記載したものと類似の垂直レーザ共振器構造体について説明する。これらの共振器(Si基板付き)は、公称値として660nmでレーザ動作するように設計し構築した。共振器Aの活性層厚は $\lambda_1/2n$ ($\approx 195\text{ nm}$)とし、共振器Bの活性層厚は λ_1/n ($\approx 390\text{ nm}$)とし、そして共振器Cの活性層厚は $2\lambda_1/n$ ($\approx 780\text{ nm}$)とした。これら3種の活性層はいずれもDCITBを1%ドープしたAlqからなるものとした。トップ及びボトムDBRミラーは、これら3種のいずれも同一とし、以下のように構築した。ボトムDBRミラーは、それぞれTiO₂及びSiO₂からなる高屈折率層及び低屈折率層を交互に配して成るものとした。得られたミラーの580~750nm間の反射率ストップバ

ンドは99%を超えており、その中心波長665nmにおける反射率は99.99%を超えた。さらに、当該ミラーは445nmを中心とする幅広い反射率極大を有し、そのピーク反射率は92%を超えた。トップDBRミラーも、それぞれTiO₂及びSiO₂からなる高屈折率層及び低屈折率層を交互に配して成るものとした。得られたミラーの625~745nm間の反射率ストップバンドは99%を超えており、その中心波長685nmにおける反射率は99.9%を超えた。さらに、当該ミラーは445nmを中心とする幅広い透過率極大を有し、その平均透過率は97%を超えた。

【0021】図6に、共振器A(活性層厚195nm)及び共振器C(活性層厚780nm)について、出力の励起入力依存性のlog-logプロットを示す。励起光源は、同様に8Vにおいて5KHzの反復速度で動作し50ns幅のパルスを発生するGaInレーザダイオードとした。共振器Aのレーザ遷移は671.5nmで起こり、共振器Cのレーザ遷移は681nmで起こった。図面は、含まれる活性層が厚い方のマイクロ共振器について、レーザ動作遷移がより顕著になったことを示している。こうしたマイクロ共振器の所見は、従前より横山ら(H. Yokoyama et al., Appl. Phys. Lett. 58, 2598[1991])が認めており、当該垂直共振器がレーザ光を発している追加の証拠となる。また、横山らの結果と一致するが、当該図面は、活性層の厚さが195nmから780nmへと厚くなると、しきい値パワーが増大する(0.07 W/cm^2 から 0.22 W/cm^2 へ)ことを示している。共振器Cについては、高勾配遷移領域の端部においてしきい値パワー密度がとられており、多分以上に該しきい値が該遷移領域内部のどこかで起こっていることに留意すべきである。

【0022】共振器Aについて、図7に、励起入力を 7 W/cm^2 (レーザ動作しきい値より2オーダー高い値)とした場合の、671.5nmにおけるレーザ動作遷移と、約594nmにおける自然放出ピークのスペクトルを示す。再度、当該自然放出ピークは、トップDBRミラーの反射率がその反射率ストップバンド(625-745nm)を超えたところで急落することによるようである。上述したように、そのFWHMは $\sim 7\text{ nm}$ である。本図は、該共振器の放出スペクトルが高利得の分光的に狭いレーザ遷移によって完全に支配されていることを示すものである。

【0023】図8に、共振器B(活性層厚390nm)について、3種の励起入力ビーム条件(共振器B1、B2及びB3)で出力の励起入力依存性のlog-logプロットを示す。共振器B1~B3は3種のレーザポンプビーム条件をさす：B1)反復速度10 KHz、パルス幅10 ns、 $62\mu\text{m}$ 円形ビームスポット；B2)反復速度4 KHz、パルス幅50 ns、 2.5 mm 幅正方形ビームスポット；B3)反復速度4 KHz、パルス幅 $2\mu\text{s}$ 、 2.5 mm 幅正方形ビームスポット。これら3種のすべてを、それぞれ8V、8V及び7V(7Vは $\sim 22\text{ mWcw}$ に相当)の電圧で動作するGaInレーザダイオードで励起させた。3種の共振器はどれも666 nm付近のレーザ動作

波長を示した。本図の一般的傾向は、しきい値パワー密度が、ビームスポットサイズの増加及びパルス幅の増加の双方により低下することである（後述）。図 8 と図 6 の結果を比較すると、共振器 B1 (0.14 W/cm²) のしきい値パワー密度は共振器 A (0.07 W/cm²) 及び共振器 C (0.22 W/cm²) の結果と一致しているように見える。その結果、ポンプビームのパルス幅を 10 ns から 50 ns とすることには、影響がまったくない（あったとしても小さい）ように見える。共振器 B1 と共振器 B2 を比較すると、入力ビームスポット面積が 2000 倍増大した結果、しきい値は 35 分の 1 に低下することがわかる。留意すべき重要な点は、しきい値の上下の log-log パワー曲線勾配がこれら 2 種の条件について非常に類似していることである：共振器 B1 では 0.68 及び 0.96、共振器 B2 では 0.71 及び 0.91（共振器 A の対応する勾配は 0.76 及び 0.92 であることに留意）。次に、共振器 B2 と共振器 B3 を比較すると、パルス幅を 50 ns から 2 μ s に増加させたことにより、しきい値パワー密度が 10 分の 1 の 0.0004 W/cm² にさらに低下したことがわかる。注目すべきは、しきい値の上の log-log パワー曲線勾配は 0.92 でほぼ一定のままであるのに対し、しきい値の下の方の勾配が顕著に 1.24 に増加する（レーザ遷移領域になる）ことである。これらの結果の両方を総合する（共振器 B1 と共振器 B3 を比較する）と、スポットサイズを 3×10^{-5} から 0.0063 cm² に増加させ、かつ、ポンプビーム幅を 50 ns から 2 μ s に増加させることにより、しきい値パワー密度の減少幅は 2 オーダー以上となる。最後に、共振器 B3 について、そのパワー変換効率（レーザ出力をポンプビーム入力で割ったもの）を測定したところ、しきい値入力パワー密度より 1 オーダー高いところで約 0.06% であった。結果的に、1 μ W の赤色出力を得るためには 1.67 mW の青色入力が必要となる。トップ DBR ミラー反射率を低下させ、かつ、レーザ動作モードにいくらかの横方向閉込めを提供することにより、パワー変換効率数を相当に増加させることができる。

【0024】本例は、まったく意外なことに、ポンプビームパルス幅及びビームサイズの増加により、レーザ動作しきい値パワー密度を著しく低下させることができ、さらには OLED 駆動式（電気ポンピング式）レーザ共振器を可能ならしめることを例証するものである。

【0025】例 3

本例は、図 2 に示した態様の一例であって、有機発光ダイオード 231 からの非干渉性光出力 225 を利用して垂直レーザ共振器構造体 201 を駆動させるものである。垂直レーザ共振器構造体としては例 2 に記載した共振器 A 及び共振器 B を使用し、一方、OLED デバイスは以下のように構築した。

a) 厚さ 85 nm の ITO 被覆ガラスからなる透明アノードを、市販の洗剤で超音波処理し、脱イオン水でリンスし、トルエン蒸気で脱脂し、そして強酸化剤を接触させた。

b) 該 ITO アノードの上に、常用の熱蒸着法で、厚さ 150

nm の NPB 正孔輸送層を堆積させた。

c) 該 NPB 層の上に、常用の熱蒸着法で、厚さ 30 nm の ADN 発光層を堆積させた。

d) 該発光層の上に、常用の熱蒸着法で、厚さ 20 nm の Alq 電子輸送層を堆積させた。

e) 該電子輸送層の上に、常用の熱蒸着法で、厚さ 100 nm の MgAg カソードを堆積させた。体積比 Mg:Ag は 10:1 とした。

【0026】該 OLED デバイスを、高インピーダンス負荷に 0 ~ 24 V を送ることができると増幅器 (Avtech) を直列に接続したファンクション・ジェネレータ (HP) によって電氣的に駆動した。該 OLED デバイスに送られる電流をモニターするため、該 OLED と直列に 27 Ω の抵抗器を配置して、その電圧を 100 MHz デジタル式オシロスコープ (Tektronics) によって測定した。一対の 60 mm レンズを使用して、垂直レーザ共振器構造体の表面に法線方向から該 OLED 画素 (3 mm \times 3 mm) の出力を 1 : 1 で画像形成した。

【0027】cw 駆動電流 20 mA/cm² において、該 OLED デバイスの放射輝度測定値（法線表示方向で収集）は 1.46 W/(Sr \cdot m²) であった。図 9 に、該 OLED デバイスの相対放射輝度の分光プロットを示す。該図面からわかるように、ピーク放射輝度は 448 nm に位置する。Alq の吸収係数は 450 nm において急に低下し始めるので、該 OLED 出力の一部しかレーザ共振器によって吸収されない。

【0028】図 10 に、該 OLED デバイスが発した非干渉性光で駆動させた共振器 A のレーザ出力のスペクトルを示す。結果は、しきい値をちょうど上回る OLED 電流におけるものである。スペクトルは、図 5 で使用した場合よりも若干解像度の低い (0.40 nm の代わりに 0.55 nm) モノクロメータで測定したものである。その結果、レーザ線の FWHM は 0.55 nm である。また、62 μ m のスポットに集束させた 50 ns 幅のレーザパルスによって駆動させた共振器 A について、図 10 に使用したモノクロメータで測定した分光幅も 0.55 nm であったことにも留意すべきである。結果的に、レーザ動作遷移の狭さは（時間及び領域の）拡張や非干渉性入力ポンプビームによっては影響を受けない。

【0029】図 11 に、電気ポンピング式有機固体レーザデバイス（共振器 B は垂直レーザ共振器構造体である）について、レーザ出力の OLED 電流密度依存性を表す log-log プロットを示す。結果は、2 種の電流パルス幅 2 μ s 及び 8 μ s について得られたものであるが、どちらも反復速度は 4 KHz とした。当該 log-log パワー曲線は各々三つの直線区域（及び対応する二つのシンク）を示す。log-log パワープロットの第 1 線形部分の勾配が高いのは、OLED 駆動電流が小さい場合に 1 μ s のオーダーにある OLED デバイスの RC 時間定数の非線形効果による。2 μ s のパルスを与えたデバイスの場合、中間及び上方の線形区域の勾配はそれぞれ 1.22 及び 1.04 となり、先に共振器 B3（駆動する入力レーザビームのビーム形状及びパ

ルス幅を該OLED出力のものとはほぼ一致させたことを除き、同一のレーザ共振器)に関連して例2で報告した勾配1.24及び0.92に非常に近似している。レーザ駆動式垂直レーザ共振器とOLED駆動式垂直レーザ共振器のパワー勾配間の類似性は、パワー曲線の特徴が、ポンプビームパワー光源のコヒーレンシー又は分光特性のいずれにも依存しないことを示すものである。8 μ sのパルスを与えたデバイスの場合、図11は、2 μ sのパルスを与えたデバイスと同様に挙動することを示しており、中間及び上方の区域の線形勾配は、それぞれ1.13及び0.98である。該図面はまた、2 μ s及び8 μ sのパルスを与えたデバイスのしきい値電流が、それぞれ約0.5及び0.3 A/cm²であることも示している。上述したように、Schon et al. (J.H. Schon, Science 289, 599 [2000])が最近報告した電気ポンピング式結晶性有機物レーザのしきい値電流は1500 A/cm²であり、本例のデバイスより5000倍も高い。

【0030】

【発明の効果】本発明の利点は、トップ反射体とボトム反射体の双方に反射率の高い誘電体の多層反射鏡を内蔵した垂直共振器設計を採用し、かつ、当該活性材料を低分子量有機材料から構成したことにある。その結果、レーザ共振器のしきい値が非常に低くなる。これは、(1) 活性容量が小さいこと、(2) 損失が極めて小さく、かつ、反射性が高い、誘電体鏡を使用したこと、(3) レーザ動作媒質を、ボトムの誘電体スタックの上に非常に均一に堆積することができる低分子量有機材料から構成したこと、そして(4) レーザ動作媒質を、ホスト有機材料(非干渉性放射を吸収する)と小体積比率のドーパント有機材料(レーザ光を放出する)とから構成することにより、量子効率を高め、かつ、散乱・吸収による損失を小さくした結果である。また、まったく意外なことに、ポンプ光ビームの横断面積及びパルス幅(マイクロ秒オーダー)を顕著に大きくした結果として、しきい値パワー密度が数オーダー低下したことを見出した。垂直レーザ共振器のしきい値が非常に低くなった結果、該共振器をレーザ動作させるためにパワー密度の高いデバイス(集束レーザ光)を使用する必要がなくなる。その結果、該レーザ共振器をポンピングするための光源として、未集束OLED放射のようなパワー密度の低いデバイスを使用することで十分となる。有機系レーザ共振器にOLEDポンプ光源を組み合わせた結果、発光出力を広い波長範囲にわたり調節することができる融通性のある安価なレーザ光源が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術の有機固体レーザデバイスを示す略横断面図である。

【図2】本発明により製造された電気ポンピング式有機固体レーザ装置を示す略横断面図である。該装置は二つの部分から成る。第1部分は、非干渉性輻射線を放出す

る電気駆動式OLEDデバイスであり、第2部分は、該OLED輻射線を吸収し、かつ、より波長の長いレーザ光を放出する、しきい値の低い垂直レーザ共振器である。

【図3】本発明によるさらに別の例示態様を示す略横断面図である。

【図4】例1に記載した垂直レーザ共振器の例示態様について出力の励起入力依存性をlog-logプロットしたグラフである。

【図5】例1の垂直レーザ共振器から放出されたレーザ動作遷移の高解像度スペクトルを示すグラフである。

【図6】例2に記載した垂直レーザ共振器の二つの例示態様について出力の励起入力依存性をlog-logプロットしたグラフである。共振器A及び共振器Bの活性層の厚さは、それぞれ195 nm及び780 nmである。

【図7】例2に記載した(垂直レーザ)共振器Aによって放出された出力強度のスペクトルを示すグラフである。光の収集は法線観察方向において行った。

【図8】例2に記載した(垂直レーザ)共振器B(活性層厚390 nm)について出力の励起入力依存性をlog-logプロットしたグラフである。

【図9】例3に記載したOLEDデバイスの相対出力強度のスペクトルを示すグラフである。OLEDを20 mA/cm²で駆動し、その輻射線を法線観察方向において収集した。

【図10】例3のOLEDポンピング式垂直レーザ共振器(共振器A)から放出されたレーザ動作遷移の高解像度スペクトルを示すグラフである。

【図11】例3の電気駆動式有機固体レーザデバイスについて出力の駆動電流依存性をlog-logプロットしたグラフである。垂直レーザ共振器構造体は共振器Bとし、そしてOLEDは2 μ s及び8 μ sのパルス幅を使用して駆動した。

【符号の説明】

100...有機レーザ共振器デバイス
105...透明基板
110...ミラー層
115...活性層
120...金属
125...入力光線
130...誘導放出
200...電気ポンピング式有機固体レーザ装置
201...第1部分
205...基板
210、220...DBRミラー
215...活性層
225...OLED光
230...レーザ光
231...第2部分
235...透明基板
240...アノード
245...有機正孔輸送層

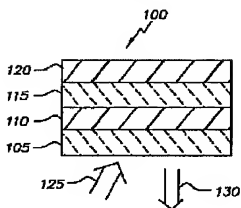
250…有機発光層

255…有機電子輸送層

260…カソード

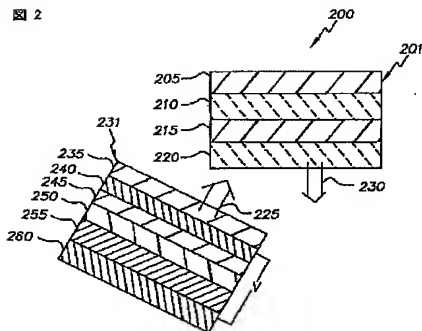
【図 1】

図 1 (従来技術)



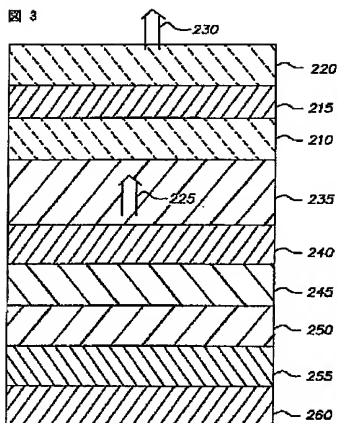
【図 2】

図 2



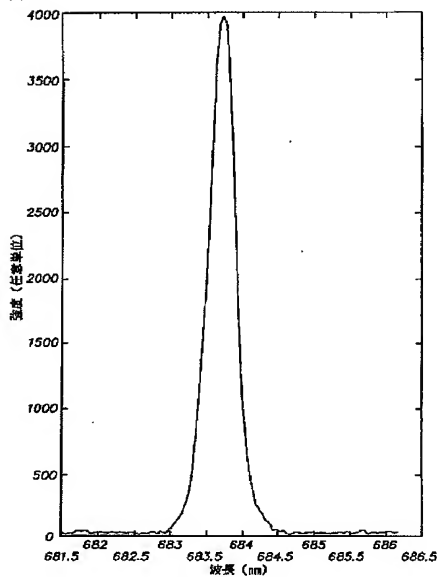
【図 3】

図 3

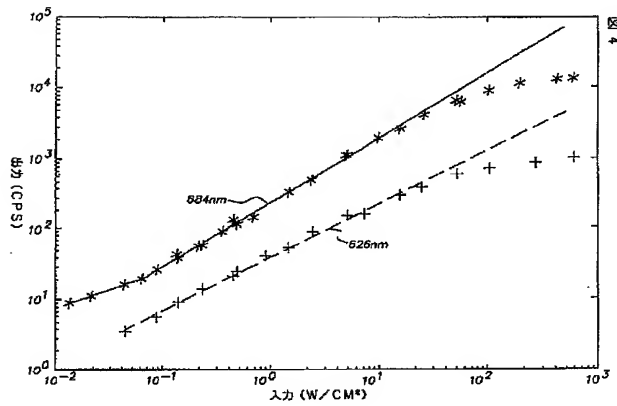


【図 5】

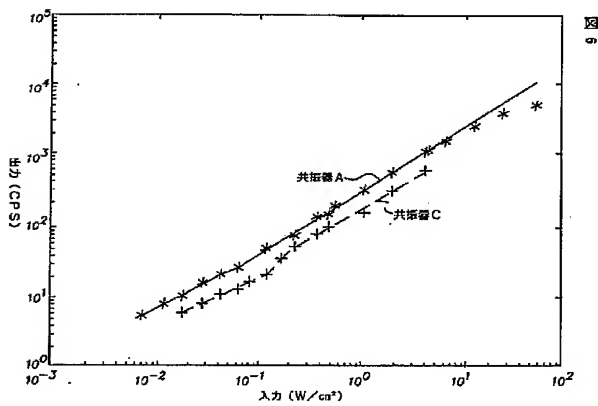
図 5



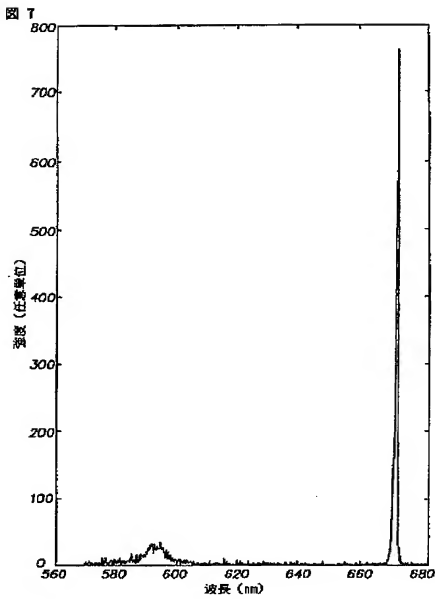
【図 4】



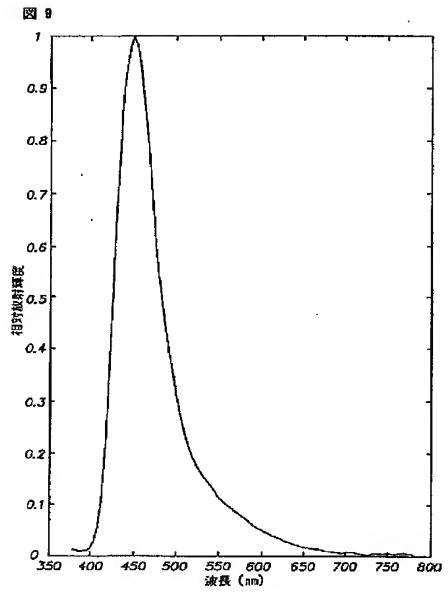
【図 6】



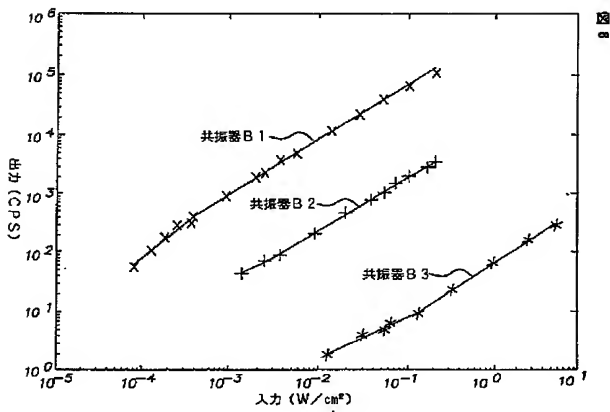
【図7】



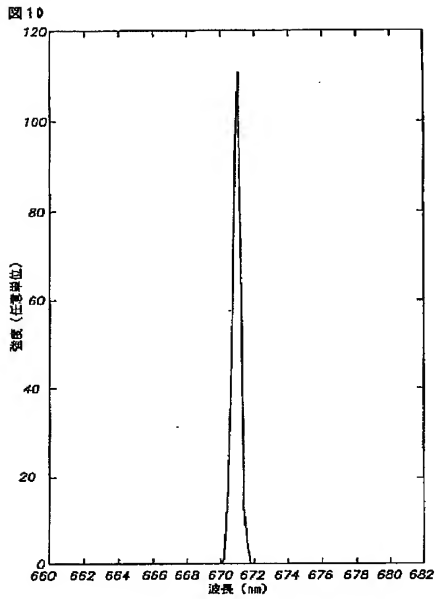
【図9】



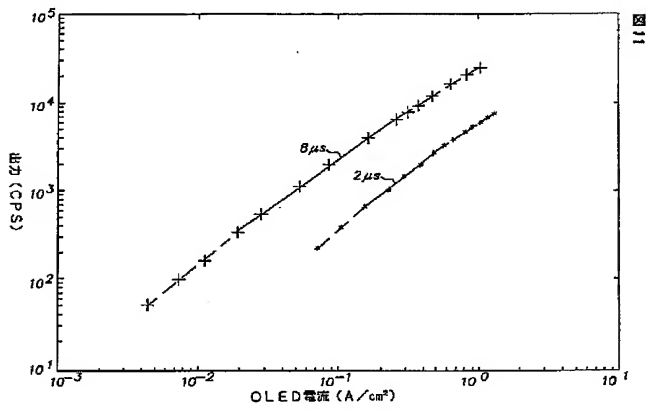
【図8】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 ジョン エー. レーベンズ
アメリカ合衆国, ニューヨーク 14543,
ラッシュ, ラッシュ スコッツビル ロー
ド 1819

(72)発明者 ジョン ビー. スプーンハウアー
アメリカ合衆国, ニューヨーク 14580,
ウェブスター, ハードウッド レーン
1245

Fターム(参考) 3K007 BB00 DB03 EA04
5F072 AB12 AK07 FF08 JJ08 JJ12
KK06 PP10 RR03